

[GIL]

1 100 kV SF₆/N₂ GIL研究

文/新东北电气集团高压开关有限公司 李科军 李 彧 张 铎
国网辽宁省电力有限公司电力科学研究院 曹 兵

GIL是实现特高电压、大电流、长距离输电的一种重要的电能输送设备。用SF₆/N₂混合气体取代纯SF₆气体作为GIL绝缘介质,具有深远的社会环保意义。从气体放电理论出发对SF₆/N₂混合气体的绝缘性能进行了深入研究,研究结果表明,混合比例为0.2:0.8的SF₆/N₂混合气体绝缘强度为相同气体压力纯SF₆气体的70%左右。对1 100 kV GIL在雷电冲击耐受电压2 400 kV下的电场分布进行了数值仿真。新东北自主研制的最低功能充气总压为0.6 MPa,混合比例为0.2 (SF₆) : 0.8 (N₂) 的1 100 kV GIL顺利通过了整套绝缘型式试验验证,其雷电冲击耐受水平高达2 880 kV。

随着全球能源互联网和我国坚强智能特高压电网的快速发展,对高电压、大电流和长距离电能输送设备的要求日益突出。目前能实现长距离输电的设备主要有架空线路、电缆和GIL(气体绝缘线路)3种,在跨越江河、发电厂或水电站等难以建设架空线路地区及输电走廊紧张的城市中心和隐蔽性军事输电工程中,架空线路难以实现;而在较高电压等级(如1 100 kV)和较大电流(如5 000 A)输电工程中,电缆通常的绝缘能力、载流能力和老化性能难以保证;相比较而言,GIL则由于具有绝缘水平高、载流能力强、输电容量大、占地少、可靠性高、免或少维护、寿命长和环境影响小的优点而日益得到青睐和重视。SF₆气体由于具有优良的绝缘性能,在GIL中一直被广泛应用。但是,SF₆气体是《京都议定书》中为了减少温室效应而被限制排放的气体,因此选用SF₆/N₂混合气体替代SF₆气体绝缘,具有深远的社会环保意义。

国家高技术研究发展计划:1 000 kV交流输变电工程GIS核心技术的研究(2006BAA02A12)。

介绍了SF₆/N₂混合气体的优点和绝缘特点。对1 100 kV SF₆/N₂ GIL在雷电冲击耐受电压下的电场分布进行了数值仿真分析。新东北电气自主研制的最低功能充气总压为0.6 MPa,混合比为0.2 (SF₆) : 0.8 (N₂) 的1 100 kV GIL按照GB/Z 24838—2009在国家高压电器质量监督检验中心顺利通过了整套绝缘型式试验验证,雷电冲击耐受电压水平高达(LIWV) 2 880 kV,目前该1 100 kV GIL可应用于实际特高压交直流输变电工程。

SF₆/N₂ 混合气体的优点

与纯SF₆气体相比,SF₆/N₂混合气体具有以下优点。

1) 较为绿色环保。1997年12月通过的《京都议定书》中,SF₆气体被列为全球限制排放的6种气体之一,其危害主要表现在温室效应上。就等量的SF₆气体与CO₂气体相比,SF₆气体的温室效应相当于CO₂气体的23 900倍。SF₆/N₂混合气体中SF₆气体的含量一般在20%~60%之间,大大减少了SF₆气体的用量,较为绿色环保。

2) 液化温度低。SF₆气体虽具有良好的绝缘

性能,但其液化温度较高。如 SF_6 气体在0.7 MPa压力下,当环境温度下降到 $-20\text{ }^\circ\text{C}$ 时就会液化,而20% SF_6 和80% N_2 的混合气体在同样压力下,当环境温度下降到 $-130\text{ }^\circ\text{C}$ 时才会液化。 SF_6/N_2 混合气体解决了GIL等高压电气设备在严寒地区的应用问题。

3) 价格便宜。 SF_6 是非自然界天然存在的气体,需要人工化工合成,成本价格较高。相比而言, SF_6/N_2 混合气体成本明显降低。

SF_6/N_2 混合气体的以上优点使其取代纯 SF_6 气体作为GIL等高压电气设备的绝缘介质,具有重要的社会环保和经济意义。

图1中曲线1给出了不同 SF_6 含量 SF_6/N_2 混合气体的击穿强度;曲线2给出了要达到相同的击穿强度, SF_6/N_2 混合气体需要达到的气体总压。

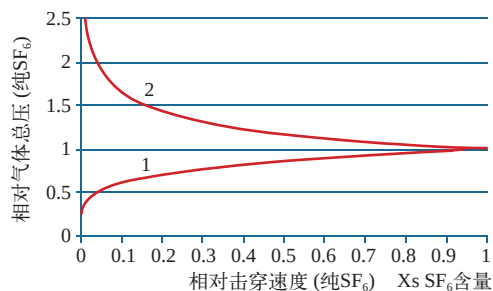


图1 不同 SF_6 含量 SF_6/N_2 混合气体的击穿强度

由图1中曲线1可知, SF_6/N_2 混合气体中的 SF_6 含量仅为0.2时,其绝缘强度已经达到相同气体压力纯 SF_6 的70%左右。由曲线2可知,混合比例为0.2:0.8的 SF_6/N_2 混合气体的击穿强度要达到纯 SF_6 气体的击穿强度,其总压应为纯 SF_6 气体的1.4倍。

1 100 kV SF_6/N_2 GIL绝缘性能研究

新东北电气自主研发的1 100 kV GIL典型单元模块结构如图2所示,其雷电冲击耐受电压水平要求为2 400 kV。

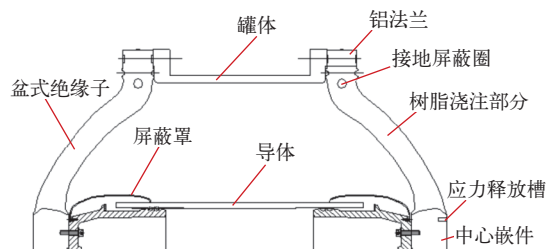


图2 1 100 kV GIL典型单元模块

应用有限元数值分析计算软件Ace,对1 100 kV GIL进行电场数值仿真。在雷电冲击耐受电压

2 400 kV下,其电位等值云图分布如图3所示,电场强度最大值为19.8 kV/mm。

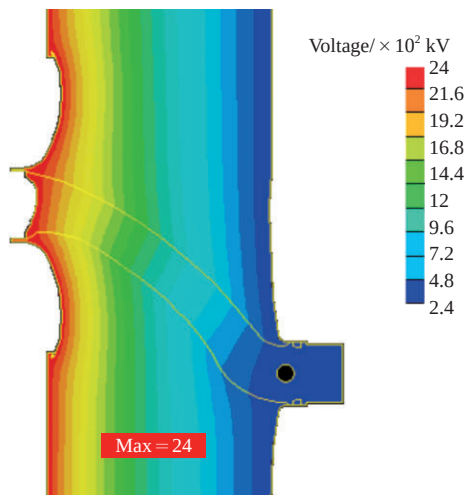


图3 1 100 kV GIL电位等值云图分布

从绿色环保、经济性能和绝缘性能等角度综合考虑,1 100 kV SF_6/N_2 混合气体GIL中的 SF_6/N_2 比例选择为0.2:0.8,混合气体额定充气总压0.7 MPa,最低功能充气总压为0.6 MPa。根据前述的相关研究结论,总压为0.6 MPa,混合比例为0.2:0.8的 SF_6/N_2 的绝缘性能相当于 $0.6/1.4 = 0.43$ MPa的纯 SF_6 气体。根据《 SF_6 高压电器设计》(黎斌著),0.43 MPa气压下 SF_6 气体的许用电场强度为24.8 kV/mm。因此其绝缘性能安全可靠,且具有一定的安全裕度。

1 100 kV SF_6/N_2 GIL绝缘型式试验验证

新东北电气自主研发的1 100 kV SF_6/N_2 混合气体GIL按照GB/Z 24838—2009在机械工业高压电器产品质量检测中心(沈阳)顺利通过了整套绝缘型式试验验证,雷电冲击绝缘水平高达 $2\,400 \times 1.2 = 2\,880$ kV,试验过程均有国家电网专家组见证,试验样机布置如图4所示。



图4 1 100 kV SF_6/N_2 GIL绝缘试验样机布置

SF₆/N₂混合气体的提纯和重复利用

同纯SF₆气体的提纯相似，SF₆/N₂混合气体从使用设备中回收，经泵体打压通过一系列的过滤装置和吸附装置，将被回收SF₆/N₂混合气体中的杂质、气体分解物和水分等物质处理掉后贮藏。需要注意的是，贮藏时要注意SF₆/N₂混合气体的配比、压力及温度；要避免混合气体中的SF₆气体在高压力和相应的温度下液化。

回收后提纯的SF₆/N₂可以重新验证其SF₆气体含量。如若需要，可添加适当的SF₆气体或N₂至规定比例并混合均匀后重复使用。具体框图如图5所示。

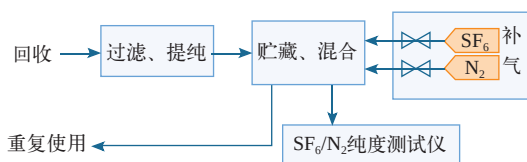


图5 SF₆/N₂重复使用框图

通常而言，由于回收提纯后的SF₆/N₂混合气体可以重复使用，一般不需要进行完全的分离。

如果一定要分离，其分离方法有蒸馏法、薄膜法、吸附法、离心法和液化法等。这些方法可以单一使用也可以组合使用。

结束语

1) 与纯SF₆气体相比，SF₆/N₂混合气体具有绿色环保、液化温度低及价格便宜等优点。

2) 混合比例为0.2 : 0.8的SF₆/N₂混合气体击穿强度为相同气体压力纯SF₆气体的70%左右，该比例的SF₆/N₂混合气体的击穿强度要达到纯SF₆气体的击穿强度，其总压应为纯SF₆气体的1.4倍。

3) 新东北电气自主研发的最低功能充气总压为0.6 MPa，混合比为0.2 (SF₆) : 0.8 (N₂) 的1 100 kV GIL在机械工业高压电器产品质量检测中心（沈阳）顺利通过了整套绝缘型式试验，雷电冲击耐受水平高达2 880 kV，目前该1 100 kV GIL可应用于实际特高压交直流输电工程。EA

(收稿日期：2017.10.09)

(编辑：刘群焱)

(上接第68页)

为了产生多段有效的驱虫超声波，本仪器需由以下电路组成：电源电路、压电控制电路、超声波扫频产生电路、超声波输出电路组成。通过由单片机控制，间隔性的产生形成扫描式的信号，通过功放，将信号放大，传至喇叭，将声音传播出去。

多频段驱虫器，其结构包括供电单元、操作控制装置、变频信号发生器和声波发生器，其中的变频信号发生器为电子驱虫器的核心，分别与供电单元、操作控制装置和声波发生器连接。变频信号发生器选择可以在2~120 kHz频段范围内发出变频振荡信号的振荡器；其中的声波发生器为适应2~120 kHz频段变频振荡信号的发声装置，接收变频信号发生器的信号，在其驱动下发出相应频率的声波。系统结构图如图所示。

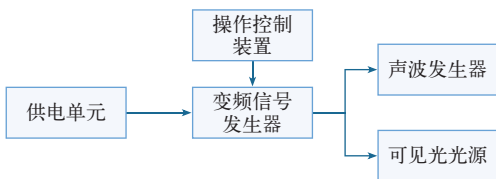


图 系统结构图

1) 主控制器：主控制器采用 泥人NiRen_STM32mini板，NiRen_STM32mini板是一款基于STM32F103RCT6微控制器最小系统板。

2) 输入模块：空开位置、复归、辅助电源输入。

结束语

本项目特点是：

1) 由于该装置制作成本低，且具有便携性及广泛保电现场适用性，针对不同分局间借用及调配的情况，便于安装，便于使用。

2) 体积小，能够灵活安装。

3) 带方便拆卸，可实现更换等功能。

本成果能方便快捷运用于配电房直流屏、通信屏、测控单元的二次室的布置，具有投入少、重量轻、体积小、使用方便、维护简单等优点，能有效提高设备运维水平。另外，项目造价低，使用方便，易拆卸，适用范围广，一般的台区配电箱均能够实现，因此推广性较强。EA

(收稿日期：2018.03.30)

(编辑：白文亭)